

# ВУЛКАНИЗМ КАК ИНДИКАТОР ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

© 2010 г. А. В. Викулин, Д. Р. Акманова, Н. А. Осипова

Институт Вулканологии и Сейсмологии ДВО РАН  
683006, г. Петропавловск-Камчатский, бульв. Пийпа, 9  
E-mail: Dinara@kscnet.ru

Поступила в редакцию 23.04.2010 г.

С целью выявления и изучения особенностей геодинимических процессов, авторами была составлена база, включающая в едином формате все известные данные о землетрясениях и извержениях вулканов планеты за последние 4.5 тыс. и 12 тыс. лет соответственно. С использованием этих данных показано, что энергетические (графики повторяемости) и пространственно-временные (скорости миграции) свойства распределения чисел землетрясений и извержений вулканов являются близкими, что позволяет вулканизм (как сейсмичность и тектонику) рассматривать как индикатор планетарного геодинимического процесса.

Ключевые слова: *геодинимический процесс, вулканизм, повторяемость, миграция вулканических извержений.*

## ВВЕДЕНИЕ

К числу важнейших геодинимических процессов определяющих фигуру Земли, относятся: вулканизм, сейсмичность и движение тектонических плит. Наиболее интенсивно такие процессы протекают в местах взаимодействия тектонических плит, где происходят все сильные землетрясения и катастрофические извержения вулканов. К числу таких мест относится окраина Тихого океана. Исследователями не раз отмечалось, что вулканизм и сейсмичность, как процессы планетарного масштаба, взаимосвязаны и причины, приводящие к движению изливашейся при извержениях вулканов магмы и к накоплению сбрасываемых при землетрясениях напоржений имеют общий генетический корень.

С целью изучения закономерностей вулканического и сейсмического процессов была создана электронная база данных, включающая в едином формате все опубликованные данные о вулканах ( $N = 630$ ) и их извержениях ( $n = 6449$ ) за последние 12 тыс. лет ( $\Delta T$  от 9850 г. до н.э. до 2008 г.) и известных землетрясениях ( $\Delta T$  от 2150 г. до н.э. до 1899 г.) и землетрясениях с  $M \geq 6$  ( $\Delta T = 1900\text{--}2008$  гг.; всего  $n = 12393$ ) планеты [7, 8]. Все вулканические извержения в базе классифицировались по величине  $W = 1, 2, \dots, 7$ , соответствующей объемам изверженного ювенильного материала:  $10^{4-5}, 10^{5-6}, \dots, 10^{10-11} \text{ м}^3$ .

## ПОВТОРЯЕМОСТЬ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ

В середине XX века назрела необходимость количественного описания вулканических явлений и введения соответствующих энергетических шкал. Одним из первых, кто разработал **шкалу интен-**

**сивности вулканических извержений**, является Х. Тсуя [31]. В основу разработанной им шкалы был положен объем изверженного материала. Используя данные Х. Тсуи, П. Хедервари с целью сопоставления энергий вулканических и сейсмических явлений вводит понятие **магнитуды вулканического извержения** [25], которая вводилась как величина, пропорциональная выделенной при извержении энергии. В основу классификации вулканических извержений, составленной и описанной П.И. Токаревым в 1987 г., была заложена масса  $m$ , поступившая на поверхность Земли за все время извержения магмы:

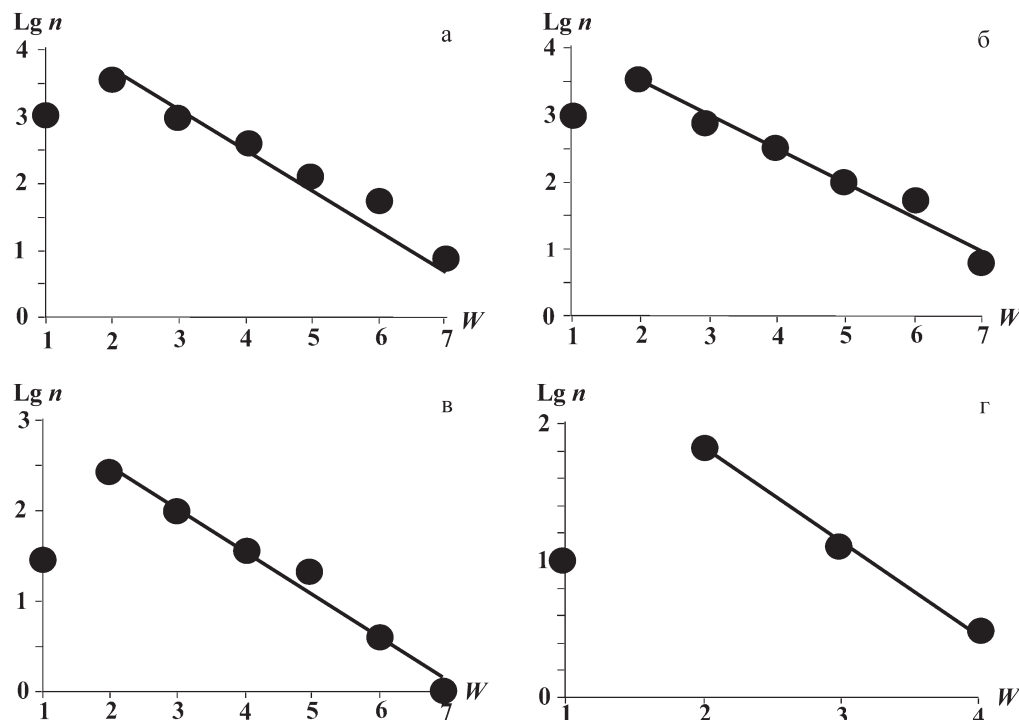
$$m = \sum (pV)_i,$$

где  $p_i$  – плотность и  $V_i$  – объем различных твердых, жидких и газообразных продуктов извержений. На основе этого П.И. Токаревым была составлена шкала вулканических извержений, в которой энергетический класс извержения  $K$  численно равен десятичному логарифму изверженной массы магмы (в кг) [17]:

$$K = \lg m.$$

В дальнейшем для оценки интенсивности вулканических извержений некоторые исследователи использовали шкалу связи вулканического индекса эксплозивности ( $VEI$ ) и энергии извержения [11, 12, 30].

Одним из первых кто ввел графики повторяемости извержений вулканов в практику научных исследований был П.И. Токарев [17, 18]. При построении графиков повторяемости им были выбраны три группы данных, взятых из различных источников: извержения вулканов мира за последние 10 тыс. лет, извержения вулканов мира за последние 3.5 тыс. лет и извержения вулканов Камчатки и Курильских островов за период с 1901–1980 гг.



**Рис. 1.** Графики повторяемости извержений вулканов с 9850 г. до н.э. до 2008 г.

а – извержения вулканов мира, б – извержения вулканов окраины Тихого океана, в – извержения вулканов п-ва Камчатки, г – извержения вулкана Ключевского (1697–2005 гг.);  $n$  – число извержений,  $W$  – объем изверженного вулканического материала.

Оказалось, что для разных выборок графики повторяемости вулканических извержений в большом диапазоне энергетических классов  $K$  оказались линейными с примерно равными углами наклона:  $b = -0.65 \pm 0.10$ . Близость значений углов наклонов графиков повторяемости вулканических извержений для различных по пространственному и временному масштабам выборок данных может свидетельствовать об общей закономерности в деятельности вулканов, как всей Земли, так и отдельного региона [17, 18]. Данные полученные П.И. Токаревым независимо были подтверждены в [9], где автор провел физическую аналогию между графиком повторяемости вулканических извержений и законом Гуттенберга-Рихтера для землетрясений.

Нами исследовались распределения чисел вулканических извержений по величинам  $W$  для разных участков Земли в течение различных интерва-

лов времени (рис. 1). Анализ показал, что, независимо от масштаба рассмотрения, логарифмы чисел вулканических извержений в большом диапазоне  $2 \leq W \leq 7$  хорошо укладываются на отрезки прямых с близкими значениями углов наклона – графики повторяемости (табл. 1). По аналогии с законом повторяемости землетрясений можно полагать, что составленная нами база с достаточной полнотой содержит данные об извержениях с  $W \geq 2-3$ . Прямолинейность графиков при  $W \geq 2$  и близость их углов наклонов на разных масштабных уровнях (мир, регион, отдельно взятый вулкан) указывают на единый планетарный вулканический процесс. Таким образом, наши данные подтверждают и дополняют ранее полученные данные [9, 17, 18], что позволяет параметр  $W$  в первом приближении рассматривать в качестве энергетической характеристики вулканического процесса.

**Таблица 1.** Значения углов наклонов графиков повторяемости извержений вулканов

| Регион           |                                  | Временной интервал извержений вулканов, $\Delta T$ | Число извержений, $n$ | Число вулканов, $N$ | Объемы изверженного материала, $W$ | Угол наклона, $b$ |
|------------------|----------------------------------|--|-----------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------|
| а                | весь мир                         | –9850 ÷ 2008 гг.                                   | 6499                  | 628                 | $1 \leq W \leq 7$                  | $-0.51 \pm 0.04$  |
| б                | окраина Тихого океана            | –9850 ÷ 2008 гг.                                   | 5567                  | 514                 | $1 \leq W \leq 7$                  | $-0.51 \pm 0.04$  |
| в                | п-ов Камчатка                    | –8050 ÷ 2008 гг.                                   | 447                   | 39                  | $1 \leq W \leq 7$                  | $-0.47 \pm 0.04$  |
| г                | Ключевской вулкан, п-ов Камчатка | 1697 ÷ 2005 гг.                                    | 95                    | 1                   | $1 \leq W \leq 4$                  | $-0.67 \pm 0.02$  |
| Среднее значение |                                  |  |                       |                     |                                    | $-0.5 \pm 0.1$    |

### МИГРАЦИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ ВДОЛЬ ОКРАИНЫ ТИХОГО ОКЕАНА

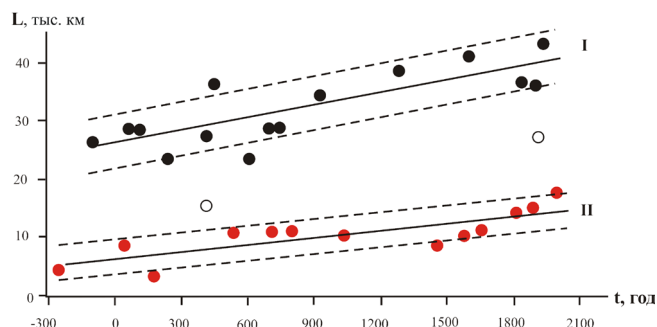
Обзор опубликованных данных по миграции вулканической активности показывает, что рядом авторов было отмечено “перемещение” в одну сторону с определенной скоростью  $V$  вулканической активности как в пределах отдельно взятых вулканических центров [13, 22, 26, 27], так и в пределах вулканических дуг [3, 21, 28]. Скорости миграции вулканической активности в отдельно взятых вулканических центрах расположены в пределах  $V = 3 \times 10^{-5} \div 2 \times 10^{-3}$  км/год; в пределах вулканических дуг скорости миграции извержений вулканов изменяются в диапазоне  $V = 100\text{--}900$  км/год.

Как видим, разными авторами независимо друг от друга были выявлены пространственно-временные закономерности в распределении вулканических извержений – их миграция. Значения скоростей миграции лежат в достаточно больших пределах и представлены двумя группами (“медленными” и “быстрыми”), которые, по видимому, как и скорости миграции очагов землетрясений [3, 4], могут быть проинтерпретированы как “разномасштабные” закономерности.

Для исследования закономерностей миграции вулканической активности нами были выбраны вулканы с большими извержениями с  $W \geq 6$  (объем выброшенного материала  $\geq 1$  км<sup>3</sup>) в пределах одного из самых активных регионов планеты – окраины Тихого океана. По данным составленной нами базы данных здесь за последние 2250 лет (с 250 г. до н.э. по 1991 г. включительно) произошло  $n = 30$  извержений  $N = 26$  вулканов с  $W \geq 6$ . Исследование свойств распределения вулканических извержений в пространстве и во времени проводилось на плоскости с осями: по вертикали – расстояние вдоль окраины Тихого океана  $L$ , по горизонтали – время извержения  $t$  (рис. 2). В качестве расстояния вдоль тихоокеанской окраины (дуги)  $L$  нами выбрана линия, примерно совпадающая с осями глубоководных желобов и границами тектонических плит, общая протяженность которой составляет  $L_0 \approx 45000$  км, она протягивается от вулкана Бакл Айленд, расположенного на окраине Пацифики, Антарктика ( $L = 0$ ) до самого крайнего на юго-востоке Пацифики вулкана Десепсьон, Южные Шетландские острова ( $L_{\max} \approx 45000$  км) [7].

Пространственно-временное расположение катастрофических (с  $W \geq 6$ ) тихоокеанских вулканических извержений представлено на рис. 2. Видно, что практически все ( $28/30 \approx 93\%$ ) вулканические извержения группируются вдоль двух, примерно параллельных друг другу достаточно узких областей (I, II), которые определяют скорость миграции  $V_I = 5 \pm 2$  км/год. (1)

Приведенные на рис. 2 данные показывают, что процесс миграции Тихого океана имеет волновой ха-



**Рис. 2.** Пространственно-временное расположение вулканических извержений с  $W \geq 6$  ( $N = 26$ ,  $n = 30$ ,  $\Delta T$  от 250 до н.э. до 1991 гг.) вдоль окраины Тихого океана протяженностью  $L_0 \approx 45 \times 10^3$  км. Объяснения в тексте.

актер. Тогда продолжительность характерного периода  $T_I$  такой миграции определяется из равенства

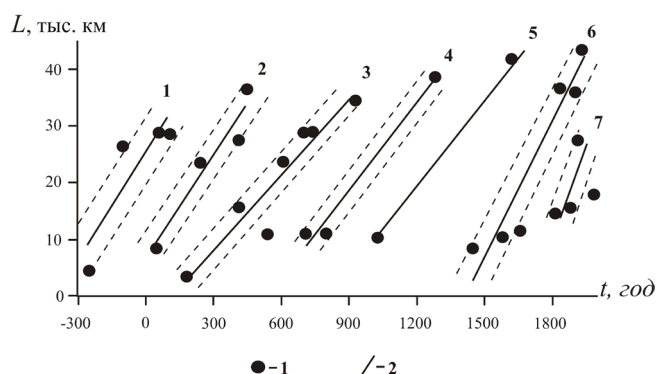
$$V_I \cdot T_I = L_0/2 \approx 2 \cdot 10^4 \text{ км}, \quad (2)$$

где  $V_I$  определяется из (1). Ясно, что в случае, если возможна миграция вулканических извержений с другой скоростью, скажем со скоростью  $V_2$ , то в рамках волнового (периодического) вулканического процесса характерный период  $T_2$  также должен соответствовать уравнению (2):

$$V_2 \cdot T_2 = L_0/2. \quad (3)$$

Анализ показал, что миграция тихоокеанских вулканических извержений с  $W \geq 6$  со скоростями, отличными от (1) возможна. Пример такой миграции представлен на рис. 3, из данных которого видно, что все  $n=30$  извержений тихоокеанских вулканов с  $W \geq 6$  в течение последних 2250 лет оказывается возможным разместить вдоль таких цепочек, скорость миграции  $V_2$  вдоль которых и характерный период  $T_2$  удовлетворяют соотношению (3):

$$V_2 = 60 \pm 10 \text{ км/год}, T_2 = 330 \pm 50 \text{ лет}. \quad (4)$$



**Рис. 3.** Примеры миграции сильных вулканических извержений с  $W \geq 6$  ( $N = 26$ ,  $n = 30$ ,  $\Delta T$  от 250 до н.э. до 1991 гг.) в пределах окраины Тихого океана со скоростями  $V_2 \approx 60$  км/год.

1 – вулканические извержения; 2 – линии миграции, определенные методом наименьших квадратов; цифрами обозначены номера миграционных цепочек, параметры которых приведены в табл. 2.

**Таблица 2.** Характеристика миграции вулканических извержений в пределах окраины Тихого океана, представленных на рис. 3 [1, 4, 7]

| $p$     | $k$       | $V_2$ , км/год | $T_2$ , год            |
|---------|-----------|----------------|------------------------|
| 1       | 4         | $63 \pm 24$    | 302                    |
| 2       | 4         | $61 \pm 12$    | 375                    |
| 3       | 7         | $44 \pm 7$     | 351                    |
| 4       | 3         | $51 \pm 8$     | 273                    |
| 5       | 4         | $50 \pm 5$     | 418                    |
| 6       | 8         | $80 \pm 10$    | 278                    |
| 7       | 6         | $50 \pm 40$    |                        |
| Среднее | $5 \pm 2$ | $57 \pm 9$     | $T \approx 333 \pm 49$ |

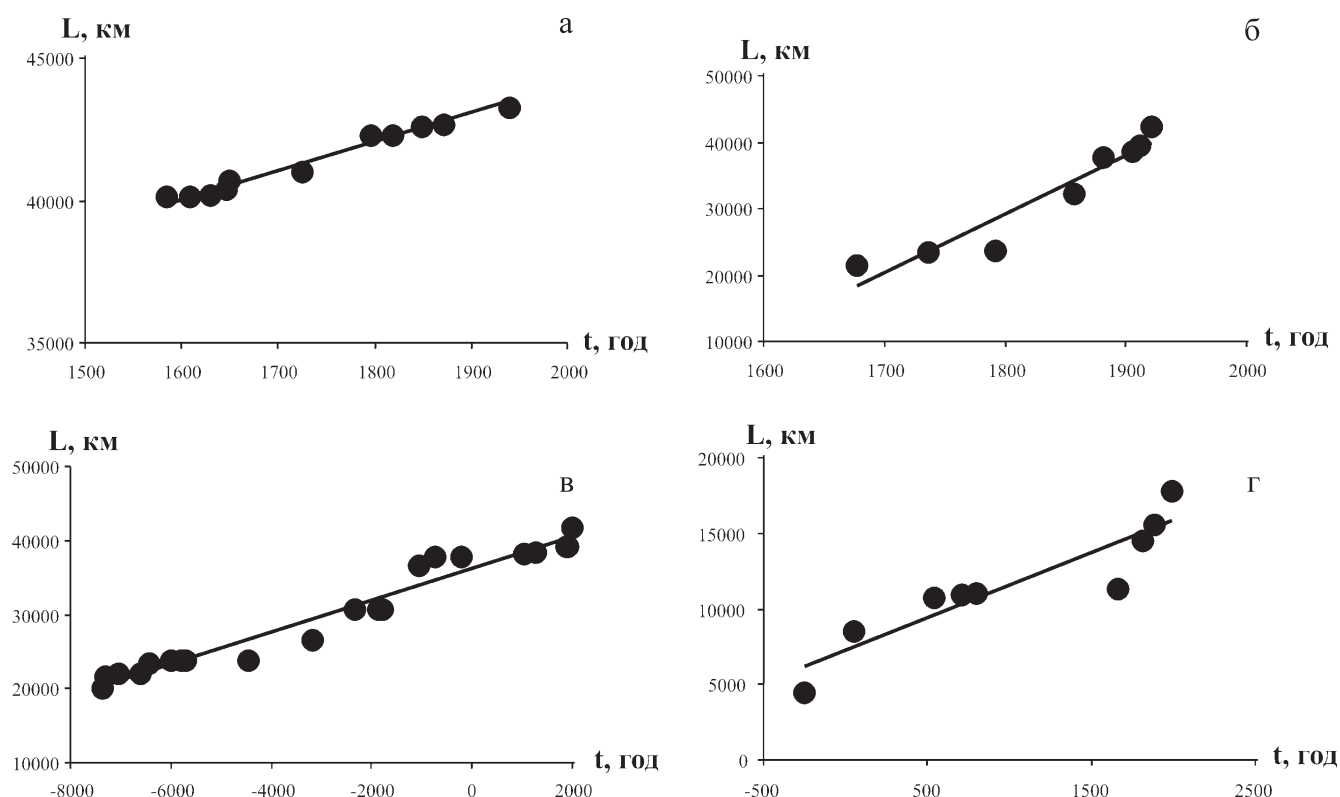
Примечание:  $p$  – число выявленных миграционных цепочек;  $k$  – число извержений в отдельно взятой миграционной цепочке;  $V_2$  – скорость миграции извержений в каждой из цепочек;  $T_2$  – характерный период следования цепочек друг за другом.

Действительно, как следует из данных в табл. 2, среднеквадратичный разброс этих значений невелик и составляет не более 15–16%, что может служить доказательством миграции вулканических извержений вдоль окраины Тихого океана со скоростью  $V_2$ . Полученные данные подтверждают сделанный ранее [3, 4] вывод о волновом характере вулканического процесса в пределах окраины Тихого океана.

## МИГРАЦИЯ ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНОВ И ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВДОЛЬ ОКРАИНЫ ТИХОГО ОКЕАНА

С целью независимого доказательства явления миграции был разработан алгоритм, позволяющий с использованием составленного нами электронного каталога выявлять пространственно-временные (миграционные) цепочки вулканических и сейсмических событий. Алгоритм построения миграционных цепочек вулканических извержений и/или очагов землетрясений сводился к следующему: для каждого  $i$ -го события каталога с координатой вдоль дуги  $L_i$  и временем  $t_i$  в каталоге искомое такое событие  $i + 1$ , координата и время которого удовлетворяли условиям  $L_{i+1} \geq L_i$ ,  $t_{i+1} \geq t_i$ . Примеры наиболее характерных из большого числа полученных миграционных цепочек представлены на рис. 4, а их параметры – в табл. 3.

Данные, представленные на рис. 4, показывают, что миграционные цепочки выделяются в большом диапазоне энергий как для очагов землетрясений (рис. 4а, б; табл. 3), так и вулканических извержений (рис. 4в, г; табл. 3). Как видим, вулканические извержения и очаги землетрясений имеют тенденцию перемещаться в пространстве и времени с определенной скоростью. Поэтому определение вероятности появления  $P$  одной миграционной цепочки



**Рис. 4.** Примеры полученных миграционных цепочек очагов сильнейших землетрясений с  $M \geq 7.5$  (а),  $M \geq 8.5$  (б) и вулканических извержений с  $W \geq 4$  (в),  $W \geq 6$  (г) вдоль окраины Тихого океана.

$L$  – расстояние вдоль окраины Тихого океана.



**Таблица 3.** Параметры выявленных цепочек миграции очагов землетрясений с  $M \geq 7.5$  и с  $M \geq 8.5$  и вулканических извержений с  $W \geq 4$  и  $W \geq 6$ , представленных на рис. 4.

| Тип                 | Энергетическая характеристика |              | $N$ | $n$ | $\Delta T$ , год | $\Delta L$ , км | $V$ , км/год   | Min и max значения $V$ , км/год |
|---------------------|-------------------------------|--------------|-----|-----|------------------|-----------------|----------------|---------------------------------|
| Землетрясения       | а                             | $M \geq 7.5$ | 48  | 11  | 355              | 3163            | $10 \pm 0,6$   | 4–3700                          |
|                     | б                             | $M \geq 8.5$ | 9   | 6   | 67               | 14224           | $224 \pm 46$   |                                 |
| Извержения вулканов | в                             | $W \geq 4$   | 43  | 6   | 104              | 11217           | $109 \pm 11.3$ | 2–130                           |
|                     | г                             | $W \geq 6$   | 11  | 9   | 2241             | 13331           | $4.3 \pm 0.7$  |                                 |

Примечание.  $N$  – количество выделенных миграционных цепочек;  $n$  – среднее количество событий в одной миграционной цепочке;  $\Delta T$  и  $\Delta L$  – продолжительность и протяженность миграционных цепочек;  $V$  – скорости миграции в цепочках, определенные методом наименьших квадратов.

ки, в случае независимости параметров  $\Delta T$ ,  $\Delta L$ ,  $n$ , можно рассчитывать путем определения значений соответствующих условных вероятностей [5, 6]:

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3, \quad (5)$$

где  $P_1$  – вероятность появления цепочки с  $n$  событиями при их общем числе в каталоге  $N$ ;  $P_2$  – вероятность появления цепочки длительностью  $\Delta T$  при временном интервале каталога  $T$ ;  $P_3$  – вероятность появления цепочки пространственной протяженностью  $\Delta L$  в пределах окраины Тихого океана протяженностью  $L_0$ . Тогда вероятность появления  $N$  таких цепочек рассчитывается из соотношения:

$$P_N = P \cdot N. \quad (6)$$

Оказалось, что значения вероятностей существования миграционных цепочек и очагов землетрясений и извержений вулканов не зависят от  $M$  и  $W$  и всегда примерно равны единице [5, 6]. Другими словами, показано, что явление миграции и извержений вулканов и очагов землетрясений проявляется на разных энергетических уровнях в течение всего периода наблюдений многих тысяч лет и поэтому является закономерным геодинамическим планетарным процессом.

## СВЯЗЬ ВУЛКАНИЗМА И СЕЙСМИЧНОСТИ

Полученные результаты проведенного нами исследования закономерностей распределения катастрофических извержений вулканов и сильнейших землетрясений показали, что в области предельно сильных энергий сейсмических и вулканических процессы, рассматриваемые в масштабе окраины Тихого океана, имеют близкие характеристики. Значения скоростей миграции вулканических извержений (табл. 2) по порядку величины совпадают со скоростями миграции сильнейших тихоокеанских землетрясений ( $M \geq 7$ , 10–100 км/год). При этом “смешанные вулкано-сейсмические” миграционные цепочки событий, составленные из наиболее сильных извержений вулканов ( $W \geq 6$ ) и землетрясений ( $M \geq 8.8$ ), определяют скорости миграции (10–100) км/год, близкие и сейсмическим (табл. 3а, б) и вулканическим (табл. 3в, г) [1, 7]. Эти данные подтверждаются результатами работы [28], в которой сильнейшее землетрясение 07.05.1986,

$M = 7.7$  с очагом в районе Крысьих островов, предвзялось четырьмя извержениями трех алеутских вулканов. При этом извержения вулканов со скоростью около 100 км/год мигрировали к очагу землетрясения и являлись, по сути, “форшоковыми”. Близкий вывод о существовании глубокой взаимосвязи между сейсмическим и вулканическим планетарными процессами был сформулирован в работах [19, 20].

Предельные по величине сейсмо-вулканические дуплеты отмечались неоднократно. Два из них, наиболее показательные, отмечены в конце XIX–начале XX вв. на Аляске и Камчатке. Так, в заливе Якутат 06–10.09.1899 г. произошла серия из четырех сильнейших землетрясений с  $M = 8.3$ ; 7.8; 8.6; 8.3, а в июне 1912 г. в результате катастрофического извержения вулкана Новарупта (Катмай) на Аляске было выброшено 16 км<sup>3</sup> пород ( $W = 6$ ). На юге Камчатки 25–27.06.1904 г. произошло три сильнейших землетрясения с  $M = 8$ ; 8.1; 7.9 [10], а в марте 1907 г. в результате катастрофического извержения вулкана Ксудач было выброшено 1.5–2 км<sup>3</sup> пород ( $W = 5$ ) [16].

По данным [15] наиболее отчетливо тесная взаимосвязь сейсмичности и вулканизма проявилась в ходе природной катастрофы 1737–1742 гг. на Камчатке. В течение этого периода сильные извержения происходили вдоль всей ( $\approx 670$  км) Восточной вулканической зоны Камчатки и в Срединном хребте. Извергались или находились в стадии повышенной активности, как минимум, 15 вулканов. Суммарный объем продуктов извержений только для пяти вулканов, для которых были выполнены расчеты (Авачинский, Ключевской, Плоский Толбачик + Толбачинская зона шлаковых конусов, Мутновский, Горелый), составил около 1 км<sup>3</sup>. В начале этого периода, в 1737 г., имела место серия сильнейших землетрясений с  $M = 9.2$ ; 7.8; 8 [10], очаги которых “покрыли” участок тихоокеанского побережья протяженностью около 1000 км от Северных Курильских островов до Усть-Камчатска. Самое сильное из них, произошедшее 17.10.1737 г., сопровождалось деформациями до 2–4 м береговой линии на протяжении 35 км в районе г. Петропавловска-Камчатского и цунами с высотой заплеска до 60 м. Вулканические землетрясения с магнитудами до  $M = 7$  сопровождали отмеченные выше извержения вулканов.

Описанный сейсмо-вулканический процесс, имевший место на Камчатке в 1737–1742 гг., как “региональное “соглашение” между вулканизмом и сейсмичностью” И.В. Мелекесцевым [15] было предложено использовать в качестве модели региональной катастрофы региона.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Геосреда является блоковой, что позволяет временные вариации вулканической [23, 24] и сейсмической [14, 29] активности интерпретировать как нелинейный отклик дискретной фрактальной среды с волновыми свойствами.

На существование у геосреды волновых свойств указывают и данные многих исследователей о повторяемости землетрясений и извержений вулканов. Полученные нами результаты показали, что значения выявленных периодов заключены в больших диапазонах от 180 до 5000 лет – для извержений вулканов мира и от 80 до 1000 лет – для землетрясений [2, 3]. При этом, для сейсмического и вулканического процессов выявлены близкие периоды, равные  $260 \pm 20$  и  $240 \pm 60$  лет, соответственно [8].

Таким образом, составленная авторами электронная база содержит представленные в едином формате данные о сильнейших сейсмических и вулканических событиях, что уверенно обеспечивает статистическую надежность проведенных оценок. Построены графики повторяемости вулканических извержений планеты, которые по своему “энергетическому” содержанию оказались близкими закону Гуттенберга-Рихтера для землетрясений. Продолжительности характерных периодов и структуры их гармоник для сейсмического и вулканического процессов планеты также оказались близкими друг другу [5, 6]. Близкими по порядку величины оказались и характерные скорости миграции сильных землетрясений и катастрофических извержений. Другими словами, полученные в работе результаты показывают, что вулканический и сейсмический процессы, рассматриваемые в пределах окраины Тихого океана, имеют близкие “энергетические”, временные и пространственно-временные характеристики, что позволяет вулканизм (как сейсмичность и тектонику) в зонах перехода океан-континент интерпретировать как специфические проявления единого геодинамического планетарного процесса в разных геофизических полях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акманова Д.Р. Особенности вулканической активности окраин Тихого океана за последние 12 тыс. лет // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России: тр. регион. научно-техн. конф. Т. 2. Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2008. С. 151–155.
2. Акманова Д.Р., Викулин А.В., Осипова Н.А., Чеба-  
нюк С.В. Вулканизм и сейсмичность как индикатор геодинамических процессов // Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя: мат-лы XLIII Тектонического совещ. Т. 1. М.: ГЕОС. 2010. С. 10–13.
3. Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. Петропавловск-Камчатский: КГПУ, 2003. 150 с.
4. Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика. Петропавловск-Камчатский: Камчатский ГУ, 2008. 463 с.
5. Викулин А.В., Акманова Д.Р., Осипова Н.А. и др. Периодичность катастрофических извержений и их миграция вдоль окраины Тихого океана // Вестник КамчатГТУ. 2009. № 10. С. 7–17.
6. Викулин А.В., Акманова Д.Р., Осипова Н.А. и др. Повторяемость сильных землетрясений и миграции их очагов вдоль сейсмического пояса // Вестник КамчатГТУ. 2009. № 10. С. 17–25.
7. Викулин А.В., Водичар Г.М., Мелекесцев И.В. и др. Моделирование геодинамических процессов окраины Тихого океана // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений: докл. IV междунар. конф. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН. 2007. С. 275–280.
8. Викулин А.В., Мелекесцев И.В., Гусяков В.К. и др. Комплексная (катастрофические вулканические + сильнейшие сейсмические события) электронная база данных как основа для модифицированной геодинамической парадигмы (на примере Пацифики) // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: тез. докл. 2 регион. научно-техн. конф. Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2009. С. 13.
9. Голицын Г.С. Объяснение зависимости частота–объем извержений вулканов // Докл. АН. 2003. Т. 390, № 3. С. 394–396.
10. Гусев А.А., Шумилина Л.С. Повторяемость сильных землетрясений Камчатки в шкале моментных магнитуд // Физика Земли. 2004. № 3. С. 34–42.
11. Задонина Н.В., Саньков В.А., Леви К.Г. Современная геодинамика и гелиогеодинамика. Природные катастрофы и организация превентивных мероприятий при чрезвычайных ситуациях. Кн. IV. Иркутск: ИрГТУ, 2004. 86 с.
12. Леви К.Г., Задонина Н.В., Бердникова Н.Е. и др. Современная геодинамика и гелиогеодинамика. 500-летняя хронология аномальных явлений в природе и социуме Сибири и Монголии. Кн. II. Иркутск: ИрГТУ, 2003. 383 с.
13. Леонов В.Л. О некоторых закономерностях развития гидротермальной и вулканической деятельности на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1991. № 2. С. 28–40.
14. Лукк А.А., Дещеревский А.В., Сидорин А.Я., Сидорин И.А. Вариации геофизических полей как проявление детерминированного хаоса во фронтальной среде. М.: ОИФЗ РАН. 1999. 210 с.
15. Мелекесцев И.В. Природная катастрофа 1737–1742 гг. на Камчатке как модель будущих региональных катастроф на островных дугах Северо-Западной Пацифики // Новейший и современный вулканизм на территории России / Ред. Н.П. Лаверов. М.: Наука, 2005. С. 553–571.
16. Мелекесцев И.В., Сулержицкий Л.Д. Вулкан Ксудач

- (Камчатка) за последние десять тыс. лет // Вулканология и сейсмология. 1987. № 4. С. 28–39.
17. Токарев П.И. Характеристика и повторяемость вулканических извержений // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 110–118.
  18. Токарев П.И. Активность вулканов Камчатки и Курильских островов в XX в. и ее долгосрочный прогноз // Вулканология и сейсмология. 1991. № 6. С. 52–58.
  19. Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Пространственно-временные закономерности сейсмической и вулканической активности. Бургас: SWB, 2007. 304 с.
  20. Хаин В.Е., Халилов Э.Н. О возможном влиянии солнечной активности на сейсмическую и вулканическую активность: долгосрочный прогноз // Transactions of the International Academy of Science H & E. V. 3. 2007/2008. Insbruck.: SWB, 2008. 18 с.
  21. Berg E., Sutton G.H. Dynamic interaction of seismic and volcanic activity of the Nazca plate edges // Phys. of the Earth and Plan. Inter. 1974. № 9. P. 45–68.
  22. Clague D.A., Dalrymple G.B. The Hawaiian–Emperor volcanic chain. Part I. Geologic Evolution // Volcanism in Hawaii. Chapter I. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1350. Washington. 1987. P. 5–54.
  23. Gusev A.A. Temporal structure of the global sequence of volcanic eruptions: Order clustering and intermittent discharge rate // Physics of the Earth and planetary interiors. 2008. P. 203–218.
  24. Gusev A.A., Ponomareva A.A., Braitseva O.A. et al. Great explosive eruptions on Kamchatka during the last 10.000 years: Self-similar irregularity of the output of volcanic products // J. Geophys. Res. 2003. V. 108. P. 1–18.
  25. Hedervari P. On the energy and magnitude of volcanic eruptions // Bulletin volcanologique. 1963. T. 25. P. 373–385.
  26. Kenneth L., Tanaka E. M., Shoemaker G. et al. Migration of volcanism in the San Francisco volcanic field, Arizona // GSA Bulletin. 1986. V. 97, № 2. P. 129–141.
  27. Lonsdale P. Geography and history of the Louisville hot spot chain in the southwest Pacific // J. Geophys. Res. 1988. V. 93, № 34. P. 3078–3104.
  28. Sauers J. The westward migration of geophysical events in the Aleutians, Springs, 1986 // Cycles. 1986. V. 37, № 9. P. 203–204.
  29. Sherman S.I., Gladkov A.S. Fractals in studies of faulting and seismicity in the Baikal rift zone // Tectonophysics. 1999. V. 308, № 1–2. P. 133–142.
  30. Simkin T., Siebert L. Volcanoes of the world (catalogue). Published in association with the Smithsonian Institution. 1993. 350 p.
  31. Tsuya H. Geological and petrological studies of volcano Fuji. Part 5: On the 1707 eruption of volcano, Fuji // Bulletin Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ. 1955. V. 33. P. 341–384.

Рецензент В.М. Нечехин

## Volcanism as the indicator of geodynamic processes

A. V. Vikulin, D. R. Akmanova, N. A. Osipova

*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch of RAS*

We have created an electronic complex database of the earthquakes and volcanic eruptions that helps us to study the regularities of the geodynamic processes. All known data about earthquakes and eruptions of volcanoes of a planet for last 4.5 thousand and 12 thousand of years accordingly in uniform format have been included in this database. With using of this data it is shown that power (repeatability schedules) and existential (speeds of migration) properties of earthquake number distribution and eruptions of volcanoes are close. This allows to consider the volcanism (as seismicity and tectonics) as the indicator of planetary geodynamic process.

Keywords: *geodynamic process, volcanism, repeatability, migration of volcanic eruptions.*